高脂饲料中添加发酵桑叶对杂交鳢生长性能、体组成及血清生化指标的影响

高胜男[1]　马卉佳[1]　徐　韬[1,2]　陈拥军[1,2]　林仕梅[1,2*]　黄先智[3]

（1. 西南大学动物科技学院，重庆 400716；2.西南大学淡水鱼类资源与生殖发育教育部重点实验室，重庆 400716；3.西南大学蚕学与系统生物学研究所，重庆 400716）

摘　要:本试验旨在研究高脂饲料中添加发酵桑叶对杂交鳢生长性能、体组成及血清生化指标的影响。选用体质健壮、平均体重为 10 g 的杂交鳢 360 尾，随机分成 3 个组，每个组设 4 个重复，每个重复 30 尾。各组分别投喂在高脂饲料中分别添加 0（对照组）、7.5%和 15.0%发酵桑叶的试验饲料。试验期 8 周。结果表明：1）与对照组相比，15.0%发酵桑叶组杂交鳢的特定生长率（SGR）和蛋白质效率（PER）显著降低（P<0.05），饲料系数（FCR）显著增加（P<0.05）；7.5%发酵桑叶组杂交鳢的 SGR、PER 和 FCR 无显著差异（P>0.05）。各组杂交鳢的摄食率（FR）无显著差异（P>0.05）。2）与对照组相比，7.5%和 15.0%发酵桑叶组杂交鳢的全鱼粗脂肪含量以及肝体比、脏体比和肠脂比显著降低（P<0.05），15.0%发酵桑叶组杂交鳢的肝脏脂肪含量显著降低（P<0.05）。各组杂交鳢的全鱼粗灰分、粗蛋白质以及肌肉脂肪含量均无显著差异（P>0.05）。3）与对照组相比，15.0%发酵桑叶组杂交鳢的血清谷草转氨酶和谷丙转氨酶活性以及总胆固醇、甘油三酯含量显著降低（P<0.05）；7.5%和 15.0%发酵桑叶组杂交鳢的血液葡萄糖含量显著降低（P<0.05）。各组杂交鳢的血清总蛋白含量均无显著差异（P>0.05）。由此可见，高脂饲料中添加 7.5%发酵桑叶不会影响杂交鳢的生长性能，而添加 15.0%发酵桑叶会抑制杂交鳢的生长，但有利于肝脏健康，改善机体的糖脂代谢。

关键词：发酵桑叶；高脂饲料；杂交鳢；生长；代谢

中图分类号：S963.16^{+}2

杂交鳢是我国重要的淡水经济养殖鱼类。目前，高密度集约化（一般每公顷产量为 45

收稿日期：2017-03-28

基金项目：公益性行业(农业)科研专项(201303053)；重庆市现代特色效益农业产业技术体系

作者简介：高胜男(1996-),女,吉林公主岭人,本科生,水产养殖专业。E-mail: 1203410573@qq.com

*通信作者：林仕梅,副教授,硕士生导师,E-mail: linsm198@163.com

000~75 000 kg）养殖的杂交鳢商业饲料中脂肪含量通常在 8%以上，易造成机体代谢失调，引起脂肪在肝脏沉积，继而影响杂交鳢产业的健康发展。如何通过营养学途径来改善或调控养殖鱼类的糖脂代谢紊乱，是营养学家致力于研究的方向。近年来，桑叶因富含多糖、黄酮、生物碱等生物活性成分[1]，且资源丰富，引起营养研究者的广泛关注。目前，关于桑叶对动物生长性能的影响尽管结果报道不一致，但均认同桑叶具有降糖、降脂功效[2]。本课题组前期研究也证实，桑叶可有效调节鱼体的脂质代谢[3]。为进一步研究桑叶对脂肪代谢的调节作用，本试验配制一种脂肪含量为 14%的基础饲料，研究在高脂饲料中添加发酵桑叶对杂交鳢生长性能、体组成及血清生化指标的影响，以期为桑叶的饲用开发积累资料，同时为优化水产饲料配制技术提供新思路。

1 材料与方法

1.1 试验饲料

桑叶营养组成为：干物质含量 31.2%，粗蛋白质含量 21.5%，粗脂肪含量 4.6%，可溶性糖含量 18.6%，粗纤维含量 21.8%。发酵桑叶由桑叶采用乳酸菌、酵母菌、芽孢杆菌和固氮菌进行固态发酵(发酵 pH 7.0，温度 28 ℃，时间 72 h)后制成，其营养组成为：干物质含量 32.5%，粗蛋白质含量 24.7%，粗脂肪含量 10.3%，可溶性糖含量 11.5%，粗纤维含量 17.9%。

以鱼粉、豆粕和棉籽蛋白为主要蛋白质源，以鱼油和豆油为主要脂肪源，配制成高脂肪饲料（粗脂肪含量 14%，粗蛋白质含量 41%，总能 19.5 MJ/kg），在高脂饲料中分别添加 0（对照组）、7.5%和 15.0%的发酵桑叶，配制成 3 种试验饲料，其组成及营养水平见表 1。各饲料原料粉碎过 80 目筛，采取逐级稀释法混合均匀，制成粒径为 3.0 mm 的膨化浮性颗粒饲料，风干后放入 4 ℃冰箱中保存备用。

表 1 试验饲料组成及营养水平（风干基础）

Table 1 Composition and nutrient levels of experimental diets (air-dry basis) %

项目 Items	发酵桑叶水平 Fermented mulberry leaves level/%		
	0	7.5	15.0
原料 Ingredients			
鱼粉 Fish meal	40.0	40.0	40.0

豆粕 Soybean meal	20.0	16.0	12.0
棉籽蛋白 Cottonseed protein	8.0	8.0	8.0
发酵桑叶 Fermented mulberry leaves		7.5	15.0
面粉 Wheat flour	19.3	15.8	12.3
鱼油 Fish oil	5.0	5.0	5.0
豆油 Soybean oil	5.0	5.0	5.0
氯化胆碱 Choline chloride	0.2	0.2	0.2
预混料 Premix	1.0	1.0	1.0
磷酸二氢钙 $Ca(H_2PO_4)_2$	1.5	1.5	1.5
合计 Total	100.0	100.0	100.0
营养水平 Nutrient levels			
粗蛋白质 Crude protein	41.6	41.5	41.2
粗脂肪 Crude lipid	14.2	14.3	14.5
粗纤维 Crude fibre	2.65	3.76	4.92
粗灰分 Ash	9.8	10.5	11.2
有效磷 Available phosphorus	0.90	0.89	0.89
赖氨酸 Lys	2.65	2.58	2.53
蛋氨酸 Met	0.90	0.87	0.84
总能 Gross energy/(MJ/kg)	19.5	19.6	19.5

预混料为每千克饲料提供 Premix provided the following per kg of diets：VA 18 mg，VD_3 5 mg，VE 150 mg，VC 500 mg，VB_1 16 mg，VB_6 20 mg，VB_{12} 6 mg，VK_3 18 mg，核黄素 riboflavin 40 mg，肌醇 inositol 320 mg，泛酸钙 calcium pantothenate 60 mg，烟酰胺 niacinamide 80 mg，叶酸 folic acid 5 mg，生物素 biotin 2 mg，Na 30 mg，K 50 mg，Mg 100 mg，Cu 4 mg，Fe 25 mg，Zn 35 mg，Mn 12 mg，I 1.6 mg，Se 0.2 mg，Co 0.8 mg。

1.2 试验设计和饲养管理

试验鱼选用当年培育的体质健壮、规格整齐的杂交鳢（平均体重为 10 g）360 尾，随机分成 3 个组，每个组设 4 个重复，每个重复 30 尾。在室内淡水养殖系统（水缸有效体积

为 260 L）中饲养 8 周，日投饲量为体重的 3%~5%，每天 08:00、12:30、17:00 各投喂 1 次。养殖水源为曝气自来水，试验期间水温为（24.5±2.5）℃，pH 为 7.4±0.4，溶氧含量为 6~7 mg/L，氨氮含量<0.10 mg/L，亚硝酸盐氮含量为 0.005~0.010 mg/L。

1.3 样品制备与分析

饲养结束后，禁食 24 h 后称重，每重复随机取 3 尾鱼作为全鱼样品，用于体组成的测定；每重复随机取 3 尾鱼，用 MS-222 进行麻醉，分离出内脏、肝胰脏和肠系膜脂肪，用于形体指标的测定；每重复随机取 5 尾鱼用一次性医用注射器尾静脉取血，取出的血液一部分用于测定全血中葡萄糖含量，另一部分于 4 000×g、4 ℃条件下离心 10 min，收集血清，-20 ℃保存备用，用于测定血清生化指标。

饲料原料及全鱼样品均在 105 ℃烘干至恒重，然后采用凯氏定氮法测定粗蛋白质含量，采用索氏抽提法测定粗脂肪含量，采用高温（550 ℃）灼烧法测定粗灰分含量，采用钼黄分光光度法测定总磷含量，采用 GR3500 氧弹式热量计测定饲料总能。

血清生化指标采用全自动分析仪（迈瑞，BC-3000）测定，包括谷草转氨酶（aspartate transaminase,AST）、谷丙转氨酶（alanine aminotransferase,ALT）活性及总胆固醇（total cholesterol,TC）、甘油三酯（triglyceride,TG）、总蛋白（total protein,TP）含量。血液中葡萄糖（glucose，GLU）含量采用上海强生血糖仪测定。

1.4 计算公式

特定生长率（SGR,%/d）$=100\times[\ln W_t-\ln W_0]/t$；

蛋白质效率(PER)$=(W_t-W_0)/(F\times F_p)$；

饲料系数（FCR)$=F/[W_t-W_0]$；

摄食率（FR,g/d）$=F\times 2/[(W_t+W_0)\times t]$；

成活率（SR,%）$=100\times N_t/N_0$；

脏体指数（VSI,%）$=100\times W_v/W_t$；

肠脂比（IPF,%）$=100\times W_i/W_t$；

肝体比(HSI,%)$=100\times W_h/W_t$。

式中：W_t 为终末均重(g)；W_0 为初始均重(g)；t 为饲养天数(d)；F 为总摄食饲料的干重(g)；F_p 为饲料的粗蛋白质含量(%)；N_t 为初始尾数（尾）；N_0 为终末尾数（尾）；W_v 为内

脏重量(g)；W_i 为肠道脂肪重量；W_h 为肝脏重量(g)。

1.5 数据处理

采用 SPSS 17.0 对所得数据用单因素方差分析（one-way ANOVA）及 Tukey 氏法多重比较进行处理。除成活率外，所有试验数据以平均值±标准误表示，差异显著水平为 P<0.05。

2 结 果

2.1 发酵桑叶对杂交鳢生长性能的影响

由表 2 可知，7.5%发酵桑叶组杂交鳢的末重显著高于 15.0%发酵桑叶组和对照组（P<0.05）。7.5%发酵桑叶组杂交鳢的特定生长率、蛋白质效率和饲料系数与对照组无显著差异（P>0.05）；而 15.0%发酵桑叶组杂交鳢的特定生长率、蛋白质效率与对照组相比显著降低（P<0.05），饲料系数显著增加（P<0.05）。各组杂交鳢的摄食率无显著差异（P>0.05），成活率均为 100%。

表2 发酵桑叶对杂交鳢生长性能的影响

Table 2 Effects of fermented mulberry leaves on growth performance of hybrid snakehead （n=4）

项目 Items	发酵桑叶水平 Fermented mulberry leaves level/%		
	0	7.5	15.0
初重 IBW/g	32.67±0.30	33.07±0.40	33.55±0.35
末重 FBW/g	90.76±1.03^{b}	98.22±2.34^{c}	85.45±0.40^{a}
特定生长率 SGR/（%/d）	1.82±0.01^{b}	1.88±0.03^{b}	1.61±0.02^{a}
蛋白质效率 PER	1.52±0.03^{b}	1.59±0.04^{b}	1.39±0.01^{a}
摄食率 FR/（%/d）	2.59±0.08	2.62±0.07	2.62±0.03
饲料系数 FCR	1.57±0.03^{a}	1.50±0.04^{a}	1.71±0.01^{b}
成活率 SR/%	100	100	100

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著（P<0.05），相同或无字母表示差异不显著（P>0.05）。下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference (P<0.05), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference (P>0.05). The same as below.

2.2 发酵桑叶对杂交鳢形体指标和体组成的影响

由表 3 可知，与对照组相比，7.5%和 15.0%发酵桑叶组杂交鳢的全鱼粗脂肪含量以及肝体比、脏体比和肠脂比显著降低（P＜0.05），15.0%发酵桑叶组杂交鳢的肝脏脂肪含量显著降低（P＜0.05）。各组杂交鳢的全鱼粗灰分、粗蛋白质以及肌肉脂肪含量均无显著差异（P＞0.05）。

表 3 发酵桑叶对杂交鳢形体指标和体组成的影响(湿重基础)

Table 3 Effects of fermented mulberry leaves on morphological parameters and body composition of hybrid snakehead （wet weight basis， n=9） %

项目 Items	发酵桑叶水平 Fermented mulberry leaves level/%		
	0	7.5	15.0
全鱼水分 Whole body moisture	71.43±0.06^{b}	69.50±0.44^{a}	70.70±0.22^{ab}
全鱼粗脂肪 Whole body crude lipid	8.76±0.20^{b}	6.60±0.50^{a}	5.54±0.06^{a}
全鱼粗灰分 Whole body ash	5.39±0.20	5.55±0.18	5.53±0.21
全鱼粗蛋白质 Whole body crude protein	16.85±0.69	17.54±0.41	17.63±0.26
肌肉脂肪 Muscle lipid	2.57±0.37	2.51±0.15	2.14±0.04
肝脏脂肪 Liver lipid	7.67±0.10^{b}	7.34±0.10^{ab}	7.22±0.10^{a}
肝体比 HSI	2.59±0.09^{c}	1.58±0.06^{b}	1.26±0.04^{a}
肠脂比 IPF	2.55±0.11^{b}	1.86±0.08^{a}	1.69±0.14^{a}
脏体比 VSI	8.41±0.20^{b}	6.50±0.13^{a}	6.28±0.20^{a}

2.3　发酵桑叶对杂交鳢血清生化指标和血液葡萄糖含量的影响

由表 4 可知，与对照组相比，15.0%发酵桑叶组杂交鳢的血清谷草转氨酶和谷丙转氨酶活性以及总胆固醇、甘油三酯含量显著降低（P<0.05）。随发酵桑叶水平的增加，杂交鳢的血液葡萄糖含量显著降低（P<0.05）。各组杂交鳢的血清总蛋白含量均显著差异（P>0.05）。

表 4　发酵桑叶对杂交鳢血清生化指标和血液葡萄糖含量的影响

Table 4　Effects of fermented mulberry leaves on serum biochemical indexes and blood glucose content of hybrid snakehead (n=4)

项目 Items	发酵桑叶水平 Fermented mulberry leaves level/%		
	0	7.5	15.0
谷草转氨酶 AST/(U/L)	49.00±0.58^{b}	44.00±6.00^{b}	27.68±1.20^{a}
谷丙转氨酶 ALT/(U/L)	64.00±7.57^{b}	44.33±4.10^{a}	35.67±2.73^{a}
总胆固醇 TC/(mmol/L)	3.52±0.08^{b}	3.33±0.05^{ab}	3.13±0.06^{a}
甘油三酯 TG/(mmol/L)	1.94±0.13^{b}	1.73±0.06^{b}	1.27±0.04^{a}
总蛋白 TP/(g/L)	35.27±0.03	35.20±0.35	34.70±1.07
葡萄糖 GLU/(mmol/L)	7.45±0.40^{c}	5.33±0.32^{b}	4.16±0.04^{a}

3　讨　论

3.1　发酵桑叶对杂交鳢生长性能的影响

从本试验结果可以看出，高脂饲料中添加低水平的发酵桑叶不会影响杂交鳢的特定生长率、蛋白质效率和饲料系数。这与在印度囊鳃鲶（*Heteropneustes fossilis*）[4]、巴塔野鲮（*Labeo bata*）[5]和南亚野鲮（*Labeo rohita*）[6]上的研究结果一致，这些研究指出饲料中用发酵桑叶替代鱼粉不会影响鱼类的生长效果和饲料利用率。本试验中也证实用发酵桑叶替代 4%豆粕是可行的。当然，饲料中发酵桑叶的添加水平因动物种类、饲料配方不同而存在差异。本试验结果显示，饲料添加低水平发酵桑叶显著增加杂交鳢末重，这表明适宜水平的发酵桑叶能够促进鱼体增重[7]。桑叶发酵后，可以改善适口性，提高蛋白质的利用率[8]，这可能是低水平发酵桑叶能够提高鱼体增重的原因。然而，饲料添加高水平发酵桑叶会抑制杂交鳢的生长。本课题组前期研究也发现，饲料中添加高水平桑叶会降低罗非鱼的生长

性能[9]，同样在蛋鸡上也有一致的研究报道[10]。发酵工艺可以有效降低桑叶中抗营养因子的含量[11]，但粗纤维含量仍然较高（17.9%），影响消化酶的活性，从而降低了饲料中营养成分的消化率[12]。本试验中 15.0%发酵桑叶的添加水平对肉食性的杂交鳢来说可能偏高，增加了粗纤维含量，导致营养物质的利用率降低，继而影响鱼类的生长，很遗憾本试验未测定饲料的消化率。有关桑叶在鱼类上的作用机制还需要深入研究。

饲料中添加植物性蛋白质源往往因其适口性差而影响动物的采食量，进而降低动物的生长性能[13]。本试验中，饲料中添加发酵桑叶没有影响杂交鳢的摄食量。这表明桑叶发酵后不会影响饲料的适口性。这与罗非鱼[10]上的研究结果一致。这也证实了前面的推断，消化率低是影响高水平发酵桑叶抑制杂交鳢生长的因素。

3.2 发酵桑叶对杂交鳢脂质代谢的影响

大量研究结果表明，饲料中添加适宜的脂肪水平不仅能够促进动物生长，还可以提高蛋白质的利用效率，实现节约蛋白质的作用[14-15]。然而，饲料脂肪水平过高，会抑制动物的生长[16]，导致脂肪过度沉积[17]，影响鱼体健康[18]。本试验结果显示，高脂饲料中添加发酵桑叶显著减少了体脂的沉积，降低了脏体比。这可能是桑叶发酵后，抗营养因子含量减少，活性成分含量增加，降糖降脂功效显著增强所致[19-20]。本研究还发现，发酵桑叶降低杂交鳢血清中总胆固醇和甘油三酯含量，并呈剂量依赖性，进一步证实发酵桑叶可以调节杂交鳢体脂的代谢和转化。这与在罗非鱼[10]和大口黑鲈[21]上的研究结果一致。这些研究结果表明，发酵桑叶在鱼饲料中可以有效调节鱼体的脂质代谢，改善脂质沉积。

本试验结果发现，高脂饲料中添加发酵桑叶显著降低了杂交鳢肝脏脂肪含量，同时血清中谷草转氨酶和谷丙转氨酶活性也显著降低，进一步证实发酵桑叶可以有效保护高脂对杂交鳢肝细胞的伤害，进而改善肝脏健康。

本试验结果显示，发酵桑叶可降低杂交鳢的血液葡萄糖含量，且存在剂量依赖性。桑叶中所含的生物活性成分如生物碱、1-脱氧野尻霉素（1-de-oxynojirimycin，DNJ）以及多糖具有竞争性抑制小肠内 α-糖苷酶的作用，延缓或抑制葡萄糖在肠道的吸收，从而实现降血糖的功效[22]，也有研究认为，生物碱和黄酮类具有调控肝脏中糖代谢过程关键酶活性的作用，从而调控机体中糖、脂肪和蛋白质的代谢和转化[20]。由此可见，桑叶中不同有效成分降血糖的机制不一，但都证明发酵桑叶在鱼类上的降糖显著。众所周知，鱼类对碳水化

合物的利用能力较低，因此，提升鱼类对饲料糖的耐受能力具有重要的实践意义。

4 结 论

高脂饲料中添加 7.5%发酵桑叶不会影响杂交鳢的饲料利用效率，还可以促进其生长；而添加 15.0%发酵桑叶会显著抑制杂交鳢的生长，但有利于肝脏健康，并随发酵桑叶水平的增加，杂交鳢血清总胆固醇、甘油三酯及血液葡萄糖含量呈下降趋势。

参考文献:

[1] 苏方华.桑叶的化学成分及临床应用研究进展[J].中国医药导报,2010,7(14):9–12.

[2]陈建国,步文磊,来伟旗,等.桑叶多糖降血糖作用及其机制研究[J].中草药,2011,42(3):515–520.

[3]李法见,杨阳,陈文燕,等.桑叶对罗非鱼生长性能、脂质代谢和肌肉品质的影响[J].动物营养学报,2014,26(11):3485–3492.

[4]MONDAL K,KAVIRAJ A,MUKHOPADHYAY P K.Introducing mulberry leaf meal along with fish offal meal in the diet of freshwater catfish,*Heteropneustes fossilis*[J].Electronic Journal of Biology,2011,7(3):54–59.

[5]MONDAL K,KAVIRAJ A,MUKHOPADHYAY P K,et al.Effects of partial replacement of fishmeal in the diet by mulberry leaf meal on growth performance and digestive enzyme activities of Indian minor carp *Labeo bata*[J].International Journal of Aquatic Science,2012,3(1):72–83.

[6]KAVIRAJ A,MONDAL K,MUKHOPADHYAY P K,et al.Impact of fermented mulberry leaf and fish offal in diet formulation of Indian major carp (*Labeo rohita*)[J].Proceedings of the Zoological Society.Springer-Verlag,2013,66(1):64–73.

[7] 孙琦,孙庆元,赵悦,等.桑叶的微生态发酵[J].大连工业大学学报,2017,36(1):19–22.

[8]任元元,康建平,黄静,等.复合菌种混合发酵提高桑叶蛋白利用率的研究[J].食品与发酵科技,2016,52(1):20–23.

[9]陈文燕,陈拥军,彭祥和,等.罗非鱼低鱼粉饲料中桑叶发酵蛋白替代鱼粉的研究[J].动物营养学报,2015,27(12):3968–3974.

[10] 章学东,李有贵,张雷,等.桑叶粉对蛋鸡生产性能、蛋品质和血清生化指标的影响研究[J].中国家禽,2012,34(16):25–28.

[11]BAIRAGI A,GHOSH K S,SEN S K,et al.Duckweed (*Lemna polyrhiza*) leaf meal as a source of feedstuff in formulated diets for rohu (*Labeo rohita Ham*.) fingerlings after fermentation with a fish intestinal bacterium[J].Bioresource Technology,2002,85(1):17–24.

[12]LI Y G,JI D F,ZHONG S,et al.Hybrid of 1-deoxynojirimycin and polysaccharide from mulberry leaves treat diabetes mellitus by activating PDX-1/insulin-1 signaling pathway and regulating the expression of glucokinase,phosphoenolpyruvate carboxykinase and glucose-6-phosphatase in alloxan-induced diabetic mice[J].Journal of Ethnopharmacology,2011,134(3):961–970.

[13]WEBSTER C D,TIU L G,TIDWELL J H,et al.Growth and body composition of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) fed diets containing various percentages of canola meal[J].Aquaculture,1997,150(1/2):103–112.

[14]NRC.Nutrient requirements of fish and shrimp[S].Washington,D.C.:National Academies Press,2011.

[15]SHIAU S Y,LAN C W.Optimum dietary protein level and protein to energy ratio for growth of grouper (*Epinephelus malabaricus*)[J].Aquaculture,1996,145(1/2/3/4):259–266.

[16]HAN T,LI X Y,WANG J T,et al.Effect of dietary lipid level on growth,feed utilization and body composition of juvenile giant croaker *Nibea japonica*[J].Aquaculture,2014,434:145–150.

[17]LÓPEZ L,DURAZO E,VIANA M,et al.Effect of dietary lipid levels on performance,body composition and fatty acid profile of juvenile white seabass,*Atractoscion nobilis*[J]. Aquaculture,2009,289(1/2):101–105.

[18]SARGENT J,TOCHER D,BELL J.The lipids[M]//HALVER J,HARDY R.Fish nutrition.3rd ed.San Diego:Academic Press,2002:181–257.

[19]FENG X M,LARSEN T O,SCHNÜRER J.Production of volatile compounds by *Rhizopus oligosporus* during soybean and barley tempeh fermentation[J].International Journal of

Food Microbiology,2007,113(2):133–141.

[20]HONG K J,LEE C H,KIM S W.*Aspergillus oryzae* GB-107 fermentation improves nutritional quality of food soybeans and feed soybean meals[J].Journal of Medicinal Food,2004,7(4):430–435.

[21] 赵鹏飞,彭祥和,陈拥军,等.高脂或低蛋白日粮中添加发酵桑叶对大口黑鲈生长、代谢与抗氧化能力的影响[J].淡水渔业,2016,46(6):86–91.

[22]李有贵,钟石,吕志强,等.桑叶 1-脱氧野尻霉素(DNJ)对 α-蔗糖酶的抑制动力学研究[J].蚕业科学,2010,36(6):885–888.

Effects of High-Fat Diet Supplemented with Fermented Mulberry Leaves on Growth Performance, Body Composition and Serum Biochemical Indexes of Hybrid Snakehead

GAO Shengnan[1] MA Huijia[1] XU Tao[1,2] CHEN Yongjun[1,2] LIN Shimei[1,2*] HUANG Xianzhi[3]

(1. *College of Animal Science and Technology*, *SouthwestUniversity*, *Chongqing* 400716, *China*; 2. *Key Laboratory of Freshwater Fish Reproduction and Development* (*Ministry of Education*), *Southwest University*, *Chongqing* 400716, *China*; 3. *Institute of Sericulture and Systems Biology*, *Southwest University, Chongqing* 400716, *China*)

Abstract: This experiment was conducted to study the effects of high-fat diet supplemented with fermented mulberry leaves on growth performance, body composition and serum biochemical indexes of hybrid snakehead. A total of 360 healthy hybrid snakehead with the average body weight of 10 g were randomly divided into 3 groups with 4 replicates per group and 30 fish per replicate. Fish in the 3 groups were fed the high-fat diet supplemented with 0 (control group), 7.5% and 15.0% fermented mulberry leaves, respectively. The experiment lasted for 8 weeks. The results showed as follows: 1) compared with the control group, the specific growth rate (SGR) and protein efficiency rate (PER) of hybrid snakehead in 15.0% fermented mulberry leaves group were significantly decreased ($P<0.05$), but the feed conversion rate (FCR) was significantly increased ($P<0.05$); the SGR, PER and FCR of hybrid snakehead in 7.5% fermented mulberry leaves group had no significant difference ($P>0.05$). There was no significant difference in feeding rate (FR) of hybrid snakehead among all groups ($P>0.05$). 2) Compared with the control group, the lipid content of whole body, hepatosomatic index,

viscerosomatic index and intraperitoneal fat ratio of hybrid snakehead in 7.5% and 15.0% fermented mulberry leaves groups were significantly decreased ($P<0.05$), and the liver lipid content of hybrid snakehead in 7.5% fermented mulberry leaves group was significantly decreased ($P<0.05$). There were no significant differences in the contents of whole body crude ash, whole body crude protein and muscle lipid of hybrid snakehead among all groups ($P>0.05$). 3) Compared with the control group, the glutamic-oxalacetic transaminase and glutamic-pyruvic transaminase activities and total cholesterol and triglyceride contents in serum of hybrid snakehead in 15.0% fermented mulberry leaves group were significantly decreased ($P<0.05$), and the blood glucose content of hybrid snakehead in 7.5% and 15.0% fermented mulberry leaves groups was significantly decreased ($P<0.05$). There was no significant difference in serum total protein content of hybrid snakehead among all groups ($P>0.05$). In conclusion, high-fat diet supplemented with 7.5% fermented mulberry leaves has no effects on growth performance of hybrid snakehead, while supplemented with 15.0% fermented mulberry leaves can decrease the growth of hybrid snakehead, but it is good for liver health, and can improve the body glucolipid metabolism.

Key words: fermented mulberry leaves; high-fat diet; hybrid snakehead; growth; metabolism

*Corresponding author, associate professor, E-mail: linsm198@163.com （责任编辑　武海龙）